

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift DE 197 29 186 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 01 L 21/36  
H 01 L 21/20  
H 01 S 3/18

21 Aktenzeichen: 197 29 186.4  
22 Anmeldetag: 8. 7. 97  
43 Offenlegungstag: 14. 1. 99

71 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE  
72 Erfinder:  
Erfinder wird später genannt werden

56 Entgegenhaltungen:

US 54 22 902  
WO 97 18 592 A2

LUGAUER, H.J. et al.: p-Type doping of beryllium chalcogenides grown by molecular beam epitaxy. NL-Z.: Journal of Crystal Growth (May 1997), Vol.175-176, pt.1 p.619-623;  
FISCHER, F., et al.: II-VI Light-emitting devices based on beryllium chalcogenides. NL-Z.: Journal of Crystal Growth (May 1997), Vol.175-176, pt.1, p.532-540;  
WAAG, A., et al.: Beryllium-containing materials for II-VI Laser diodes in: Proceedings of the SPIE (1997), Vol.2994, p.32-42;  
LUGAUER, H.J. et al.: P-type doping of beryllium

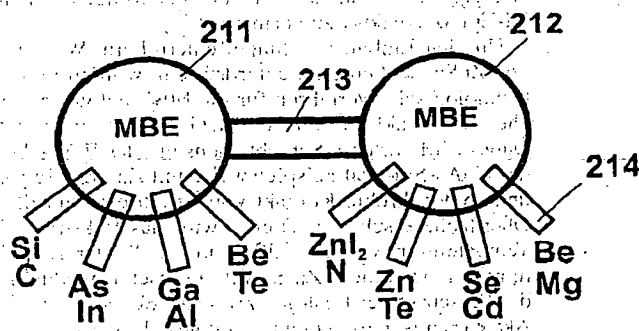
chalcogenides. US-Z.: Materials Science & Engineering B (Solid-State Materials for Advanced Technology), Jan.1997, Vol.B43, no.1-3, p.88-91;  
LITZ T., et al.: Molecular beam epitaxy of Be-related II-VI compounds. US-Z.: Materials Science & Engineering B (Solid-State Materials) for Advanced Technology), Jan.1977, Vol.B43, no.1-3, p.83-87;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum Herstellen eines II-VI-Halbleiter-Bauelements

57 Verfahren zum Herstellen eines II-VI-Halbleiterbauelements, bei dem eine mindestens eine Se- und/oder S-haltige II-VI-Halbleiterschicht aufweisende aktive Schichtenfolge (113) auf einem Substrat (101) aufgebracht wird. Zunächst wird in einer im wesentlichen Se- und S-freien ersten Epitaxiekammer (211, 221) eine Se-freie II-VI-Zischenschicht (103) auf der Basis von BeTe epitaktisch auf das Substrat (101) aufgewachsen. Nachfolgend wird die aktive Schichtenfolge (113) epitaktisch auf die Se-freie II-VI-Halbleiterschicht (103) aufgewachsen.



DE 197 29 186 A 1

DE 197 29 186 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen eines II-VI-Halbleiterbauelements, bei dem eine mindestens eine Se- und/oder S-haltige II-VI-Halbleiterschicht aufweisende aktive Schichtenfolge auf einem Substrat aufgebracht wird. Sie bezieht sich insbesondere auf ein Verfahren zum Herstellen von Laserdioden mit einer im Wesentlichen aus ZnMgSSe oder BeMgznSe bestehenden laseraktiven Schichtenfolge insbesondere auf einem GaAs-, Si- oder Ge-Substrat mittels Molekularstrahlepitaxie (MBE) oder Metallorganischer Gasphasenabscheidung (MOCVD).

Der Einsatz von II-VI-Laserdioden aus ZnMgSSe oder BeMgznSe scheitert beim gegenwärtigen Stand der Entwicklung an der geringen Lebensdauer, die für diese Bauelemente bisher erreicht werden konnte. Als Ursache für die Alterung, die einem diffusionslimitierenden Mechanismus folgt, werden nichtstrahlende Gebiete gesehen, sogenannte "dark spots" (DS) oder "dark line defects" (DLD), die sich während des Betriebes der Laserdiode ausbreiten und vermehren. Aufgrund ihrer Struktur wurden DS bzw. DLD als Versetzungsschleifen und Versetzungsdipole in oder nahe der aktiven Zone identifiziert. Sie haben ihren Ursprung meist an ausgedehnten Kristalldefekten wie z. B. Versetzungen oder Stapelfehlern, die zum Großteil an der Grenzfläche zwischen der II-VI-Schichtenfolge und dem III-V-Substrat entstehen (man vgl. L.H. Kuo et al., Generation of degradation defects, stacking faults and misfit dislocations in ZnSe-based films grown on GaAs, J.Vac.Sci.Technol. B, 13(4) (1995), 1694).

Die Nukleation dieser mehrdimensionalen Gitterfehler kann dadurch geschehen, daß zwischen Selen- aber auch Schwefel-Atomen und der GaAs-Oberfläche die Tendenz zu einer chemischen Reaktion besteht. Beide Chalcogene gehen eine starke Bindung zu III-V-Halbleitern ein, insbesondere zu Ga- und Inhaltigen wie GaAs, InAs oder InGaAs. Die entstehenden Reaktionsprodukte – vorgeschlagen wird z. B.  $Ga_2Se_3$  bzw.  $Ga_2S_3$  – bilden zahlreiche Keime an der Substratoberfläche für die Neubildung von Stapelfehlern. Diese Keimbildung kann schon bei geringen Mengen an Schwefel oder Selen im Hintergrunddruck des Epitaxiereaktors einsetzen. Diese ungewollte Verunreinigung der Substratoberfläche mit Se oder S kann durch das Abdampfen dieser Elemente von heißen Filamenten oder Offenblenden erfolgen; es ist demnach äußerst aufwendig, sie in einem II-VI-Epitaxiereaktor zu vermeiden.

Um den Einbau von Stapelfehlern beim Wachstumsstart von ZnSe auf GaAs zu unterdrücken, wurden verschiedene technologische Verfahren für die MBE entwickelt, bei welchen die Reaktion von Se mit Ga verhindert werden soll. Dabei wird vor dem Schichtwachstum des II-VI-Halbleiters das GaAs-Substrat beispielsweise mit Zn oder Te passiviert und so der direkte Kontakt von Se-Atomen mit der GaAs-Oberfläche erschwert. Hierzu wird das Substrat bei tiefen Temperaturen von ca. 230°C innerhalb der II-VI-Wachstumschammer einem Zn-Strahl ausgesetzt, wodurch die für das Einsetzen der Reaktion zwischen Se und Ga notwendige Aktivierungsenergie nicht bereit gestellt wird.

Aus kinetischen Gründen tritt beim Wachstum von ZnSe bei solch tiefen Temperaturen – typischerweise wird ZnSe zwischen 270°C und 320°C hergestellt – ein Übergang in ein dreidimensionales Wachstum (Inselwachstum) ein. Unter diesen Bedingungen kann die Koaleszenz von Wachstumsinseln zum Einbau von Defekten führen. Das Einsetzen des Inselwachstums kann durch ein MBE-Verfahren (migration enhanced epitaxy) umgangen werden. Beim MBE-Wachstum wird abwechselnd Zn und Se der Kristalloberfläche angeboten, wobei zwischen jedem Zyklus den Atomen

einer Monolage die Zeit gegeben wird, trotz niedriger Diffusionslängen günstige Plätze auf der Oberfläche einzunehmen. Mit diesem Verfahren könnte die Defektdichte in ZnSe bzw. ZnSSe auf GaAs unter  $10^5 \text{ cm}^{-2}$  gebracht werden (man vgl. hierzu J.M. Gaines et al., Structural properties of ZnSe films grown by migration enhanced epitaxy, J.Appl.Phys. 73(6) (1993), 2835, sowie C.C.Chu et al., Reduction of structural defects in II-VI blue-green laser diodes, Appl.Phys.Lett. 69(5) (1996), 602).

Eine mögliche Alternative zur Zn-Behandlung (zn-MEB) bietet eine Passivierung mit Te-Atomen. Die chemische Reaktivität von Te mit GaAs ist deutlich geringer als die von Se und S – Te/GaAs-Grenzflächen sollten demnach stabiler in der kristallinen Struktur der Halbleitermatrix vorliegen als Se/GaAs oder S/GaAs. Im Experiment jedoch wurde eine schlechte Haftung von Te festgestellt und es konnte keine eindeutige Reduzierung der Defektdichte nachgewiesen werden.

Für einen industriellen Prozessschritt bei der Herstellung von II-VI-Halbleiterlasern weisen die vorgeschlagenen Methoden zur Unterdrückung ausgedehnter Defekte beim Wachstumsstart von ZnSe auf GaAs eine zu geringe Reproduzierbarkeit auf. So stellt es einen Nachteil der Zn-Vorbereitung dar, daß die entstehende Zn-As-Zwischenschicht keine definierte Oberfläche ergibt und u. U. Versetzungen nukleieren können. Darüberhinaus stören Se-Atome von heißen Flächen im MBE-Reaktor den Prozeß der Passivierung noch immer. Im gleichen Maße wirkt sich Selen oder Schwefel im Hintergrunddruck auf die Te-Passivierung aus. Durch die einsetzende Austauschreaktion von Te durch Se und dem damit verbundenen geringen Haftkoeffizient von Te ist die Te-Passivierung wenig effizient zum Schutz des GaAs-Substrates.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu entwickeln, das einfach durchführbar ist und mit dem die Entstehung von Stapelfehlern und Versetzungen am Übergang zwischen Substrat und II-VI-Halbleitermaterial vermieden wird.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 6.

Erfindungsgemäß sind bei dem Verfahren der eingangs genannten folgende Verfahrensschritte vorgesehen:

- a) epitaktisches Aufwachsen einer Se-freien II-VI-Halbleiterschicht auf der Basis von BeTe auf das Substrat in einer im wesentlichen Se-freien ersten Epitaxiekammer und
- b) epitaktisches Aufwachsen der aktiven Schichtenfolge auf die Se-freie II-VI-Halbleiterschicht in einer zweiten Epitaxiekammer.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es vorteilhafterweise möglich, BeTe-Zwischenschichten in hoher Qualität auf einem Substrat, z. B. GaAs, mit MBE herzustellen. Dabei wirkt die BeTe-Schicht als Puffer zwischen einer Se- oder S-haltigen II-VI-Halbleiterschicht, z. B. ZnMgSSe oder BeMgznSe, in der Art, daß keine Stapelfehler oder neue Versetzungen an der Grenzfläche zum Substrat entstehen und sich in die darüberliegenden Schichten ausbreiten.

Erfindungsgemäß ist insbesondere vorgesehen, daß vor dem Wachstum eines optoelektronischen oder elektronischen Bauelementes aus II-VI-Halbleitermaterial, insbesondere aus BeMgznSe, ZnMgSSe, MgznCdSe, MgZnCdS<sub>4</sub> oder BeMgZnS, in einem ersten im Wesentlichen Se-freien Epitaxiereaktor eine BeTe-Zwischenschicht auf dem Substratkristall, der insbesondere aus GaAs oder InAs besteht,

abgeschieden wird.

Die Verwendung einer BeTe-Zwischenschicht zur Verbesserung des MBE-Wachstumsstarts eines Selenids, z. B. BeMgZnSe oder ZnMgSSe, auf GaAs ist bereits in WO 97/18592 beschrieben. Nachteilig bei dem dort angesprochenen Verfahren ist jedoch, daß der Prozeß unter den üblichen Bedingungen der II-VI-Epitaxie, insbesondere dem hohen Anteil an Se und S im Basisdruck des Reaktors nur bedingt reproduzierbar ist. Darüber hinaus verschlechtern sich die elektrischen Transporteigenschaften bei den dort vorgeschlagenen Schichtdicken des Puffers, da BeTe für Elektronen eine Barriere darstellt, die immer schwerer durchtunnelt werden kann, je größer ihre Dicke ist.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird die Dichte von ausgedehnten Kristalldefekten in einem II-VI-Halbleiterbauelement reproduzierbar erniedrigt. Dadurch wird insbesondere bei optoelektronischen Bauelementen die Langzeitstabilität und die Emissionscharakteristik deutlich verbessert. Durch das erfindungsgemäße Aufbringen einer dünnen Zwischenschicht aus BeTe auf ein Substrat aus beispielsweise GaAs und einer II-VI-Halbleiterschicht aus beispielsweise BeMgZnSe oder ZnMgSSe wird verhindert, daß Selen oder Schwefel an die GaAs-Oberfläche gelangen kann, wodurch die Entstehung von Stapelfehlern und Versetzungen am Übergang zwischen dem II-VI-Halbleiter und dem III-V-Halbleiter vermieden wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird im folgenden anhand von 2 Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Fig. 1 bis 4 und der Tabelle 1 näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines lichtemittierenden Bauelementes mit einer nach dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß einem der Ausführungsbeispiele hergestellten Zwischenschicht,

Fig. 2 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines MBE-Systems zur Herstellung von II-VI-Halbleiterschichten gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel,

Fig. 3 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines MBE-Systems zur Herstellung von II-VI-Halbleiterschichten gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel,

Fig. 4 eine Mikroskopaufnahme einer nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten angeätzten BeMgZnSe-Oberfläche zur Klassifizierung der Defektypen (Typ I bis Typ III) und die Tabelle einen qualitativen Vergleich der erzielbaren Defektdichten in BeMgZnSe-Heterostrukturen in Abhängigkeit von der Substratvorbehandlung.

Bei der in Fig. 1 gezeigten Darstellung handelt es sich um den Aufbau eines lichtemittierenden Bauelementes mit einer zwischen zwei Wellenleiterschichten 106, 108 angeordneten aktiven Zone 107. Diese drei Schichten 106-107 befinden sich wiederum zwischen einer ersten und einer zweiten Mantelschicht 105, 109. Auf der der aktiven Zone 107 abgewandten Hauptfläche der zweiten Mantelschicht 109 ist eine Kontaktschicht 110 aufgebracht, die mit einem Metallkontakt 112 versehen ist.

Die aktive Bauelement-Schichtenfolge 113, bestehend aus aktiver Zone 107, Wellenleiterschichten 106, 108, und Mantelschichten 105, 109, mit Kontaktschicht 110 und Metallkontakt 112 ist auf einem Substrat 101 angeordnet. Zwischen dem Substrat 101, das an seiner der aktiven Zone 107 abgewandten Hauptfläche einen Metallkontakt 111 aufweist, und der aktiven Bauelement-Schichtenfolge befindet sich, gesehen vom Substrat 101, eine Pufferschicht 102, eine Zwischenschicht 103 und eine Anpassungsschicht 104. Die Zwischenschicht 103 verhindert die Generation von Stapelfehlern bei der Herstellung des lichtemittierenden Bauelementes.

Die Zwischenschicht 103 besteht beispielsweise aus BeTe,  $\text{Be}_x\text{Mg}_y\text{Zn}_{1-x-y}\text{Te}$  und/oder  $\text{Be}_x\text{Zn}_y\text{Cd}_{1-x-y}\text{Te}$  die dar-

unterliegende Pufferschicht 102 und das Substrat 101 beispielsweise aus GaAs oder Si und die Anpassungsschicht 104 aus  $\text{Be}_x\text{Mg}_y\text{Zn}_{1-x-y}\text{Te}$ . Die darauf aufgetragene Bauelement-Schichtenfolge kann aus einer Folge von  $\text{Be}_x\text{Zn}_y\text{Cd}_{1-x-y}\text{Se}$ ,  $\text{Be}_x\text{Mg}_y\text{Zn}_{1-x-y}\text{Se}$ ,  $\text{Be}_x\text{Mg}_y\text{Zn}_{1-x-y}\text{Te}$ -Schichten aufgebaut sein. Die Metallkontakte 111, 112 sind beispielsweise aus Au/Ge oder In bzw. aus Pd/Pt/Au gefertigt.

Der in Fig. 2 gezeigte Aufbau eines MBE-Systems dient zur Herstellung eines derartigen II-VI-Halbleiterbauelements gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel. In einem ersten MBE-Reaktor 211 (erste Epitaxiekammer) wird zunächst zur Verbesserung der Oberfläche des Substrats 101 eine Pufferschicht 102 aufgebracht. Als Substrat- und Puffermaterial kann z. B. GaAs, Silizium oder Germanium verwendet werden. Hierfür stehen Effusionszellen 214 zur Verfügung, die beispielsweise As, P, Sb, Ga, Al, In, Si, oder C enthalten.

Im ersten MBE-Reaktor 211 sind weiterhin Effusionszellen 214 für die Herstellung der Zwischenschicht 103, z. B. Be und Te, evtl. Zn und Mg, zur Verfügung gestellt. Es muß verhindert werden, daß Selen oder Schwefel in den ersten MBE-Reaktor 211 eingebracht wird. Das Tiegelmaterialelement für Be ist ein Metall wie Tantal, Molybdän oder Wolfram, bevorzugt wird jedoch ein Tiegel aus BeO oder pyrolytischem Graphit (PG) oder pyrolytischem Bornitrid (PBN) verwendet. Hierbei ist darauf zu achten, daß im Fall von PBN und PG die Betriebstemperatur der Effusionszelle nicht höher als ca. 1000°C betragen sollte. Die verwendeten Materialien sollten eine Reinheit von mindestens 99,9%, besser noch von mindestens 99,999% besitzen.

Nach der Herstellung der III-V-Halbleiterpufferschicht 102, z. B. aus GaAs, das bei üblichen Wachstumsparametern für das Wachstum von GaAs hergestellt wurde, wird die Zwischenschicht 103, die insbesondere aus BeTe besteht, aufgewachsen. Für GaAs oder InGaAs oder InAs als Material für die Pufferschicht 102 wird empfohlen, eine As-reiche Oberfläche des GaAs-Puffers zu präparieren, was beispielsweise dadurch erreicht wird, daß das Substrat 101 nach dem Wachstum unter einem  $\text{As}_2$ - bzw.  $\text{As}_4$ -Fluß abgekühlt wird. Die BeTe- bzw.  $\text{Be}_x\text{Mg}_y\text{Zn}_{1-x-y}\text{Te}$  bzw.  $\text{Be}_x\text{Zn}_y\text{Cd}_{1-x-y}\text{Te}$ -Zwischenschicht 103 wird durch das Angebot eines Be- und Te- bzw. Te-Flusses bei Substrattemperaturen zwischen 200°C und 650°C, bevorzugt bei ca. 350°C bis 450°C, gebildet. Hierbei ist ein Überschuß an Te in den Atomstrahlen einzustellen, so daß das Verhältnis der Flüsse zwischen Te und Be ca.  $\text{Te}:\text{Be}=2$  bis  $\text{Te}:\text{Be}=50$  beträgt. Bevorzugt wird ein  $\text{Te}:\text{Be}$ -Verhältnis von ca. 4 bis 10, das im oberen Temperaturbereich zu hohen Werten eingestellt wird, so daß während des Wachstums immer eine Te-reiche  $(2\times 1)$ -Rekonstruktion in der RHEED-Messung (Reflection High Energy Electron Diffraction) zu beobachten ist. Die eingestellte Wachstumsrate liegt bevorzugt zwischen 0,01 Monolage/Sekunde und 1 Monolage/Sekunde.

Beim Wachstumsstart der Zwischenschicht 103, insbesondere beim Start von BeTe, können entweder alle Materialflüsse gleichzeitig angeboten werden, oder es kann zuerst ein Te-Fluß auf die GaAs-Oberfläche für eine Zeit von 0,5 bis 180 Sekunden gerichtet werden und erst dann weitere Komponenten wie Be oder Zn hinzugegeben werden. Hierbei kann es notwendig sein, nach der Te-Passivierung eine Pause von bis zu 30 Sekunden einzulegen. Nach dem Wachstum der Zwischenschicht 103 sollte das Substrat 101 auf eine Temperatur zwischen 50°C und 600°C abgekühlt werden, worauf bei hohen Temperaturen darauf zu achten ist, daß die  $(2\times 1)$ -Rekonstruktion durch ein Angebot von Te während des Abkühlens aufrechterhalten werden soll. Te sollte jedoch nicht bei einer Temperatur unter 250°C Substrattemperatur aufgedampft werden.

Der Prozeß kann auch derart modifiziert werden, daß die Zugabe von Te schon bei Temperaturen oberhalb von 400°C beendet werden kann und sich dabei eine veränderte Oberflächenbedeckung einstellen kann, die an einem Umschlag der (2x1)-Rekonstruktion in eine (4x1) oder andere Oberflächenkonstellation in RHEED zu erkennen ist.

Der erste (III-V)-MBE-Reaktor 211 ist über ein Ultra-Hoch-Vakuum(UHV)-Transfer-Modul 213 mit einem zweiten (II-VI)-MBE-Reaktor 212 (zweite Epitaxiekammer) verbunden, in welchem das Schichtwachstum von Seleniden oder Sulfiden, also der Schichten 105 bis 109 von Fig. 1, durchgeführt wird. Im Transfermodul 213 muß ein UHV mit einem Druck von besser als  $10^{-8}$  Torr, insbesondere besser als  $10^{-9}$  Torr herrschen. Das Substrat 101, aus dem ersten MBE-Reaktor 211 sollte bei erhöhten Temperaturen von ca. 50°C bis 400°C durch das Transfermodul 213 geschleust werden. Dabei ist darauf zu achten, daß kein Staub oder sonstige makroskopische Verunreinigungen auf die Substratoberfläche gelangen. Die Verweildauer im Transfermodul 213 ist möglichst kurz zu halten.

Das Wachstum im zweiten MBE-Reaktor 212 auf der Zwischenschicht 103 erfolgt bei üblichen Substrattemperaturen, z. B. zwischen 150°C und 400°C. Hierzu kann die Oberfläche der Zwischenschicht 103 vor dem Wachstumsstart eines Selenids auf BeTe – in Fig. 1 sind das beispielsweise die Schicht 104 oder 105 – mit einem Te-Fluß nochmals behandelt werden. Für die Erzeugung der Gruppe-II- und Gruppe-VI-Molekülstrahlen, insbesondere für Se und S, wird empfohlen, verschleißbare Ventilezellen bzw. Crackerzellen zu verwenden, um den Hintergründruck an Selen und Schwefel möglichst gering zu halten.

Bei dem in Fig. 3 gezeigten Aufbau zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel ist im Unterschied zum ersten Ausführungsbeispiel ein separater MBE-Reaktor 225 zur Herstellung einer glatten Pufferschicht 102, bestehend aus III-V-Halbleitermaterial wie beispielsweise GaAs, InAs oder InGaAs oder aus Silizium oder Germanium vorgesehen. Dieser separate MBE-Reaktor 225 weist Effusionszellen 224 auf, die beispielsweise Ga, As, In, Al, Si, C oder Ge enthalten. In einem dem separaten MBE-Reaktor 225 nachgeordneten ersten MBE-Reaktor 221, in dem möglichst wenig Selen und/oder Schwefel im Hintergründruck existiert, wird die Zwischenschicht 103, beispielsweise bestehend aus BeTe, epitaktisch abgeschieden. Der zweite MBE-Reaktor 222, der Transfer zwischen den MBE-Reaktoren 225, 221 und 222 sowie die Tiegelmateriale und die Prozeßparameter des III-V- und II-VI-Wachstums sind analog zum ersten Ausführungsbeispiel.

Die erzeugten Schichtdicken der Zwischenschicht 103 bei den genannten Methoden liegen im Wesentlichen zwischen 0,5 und 100 Monolagen, bevorzugt werden Schichtdicken von ca. 2 bis 10 Monolagen hergestellt. Die Zwischenschicht 103 kann undotiert oder dotiert sein, wobei für eine n-Dotierung typischerweise Iod, Brom, Chlor, Aluminium, Indium oder Gallium verwendet wird. Für eine p-Dotierung können Elemente wie N, As, Sb, P, Bi oder K, Rb, Cs oder Si, C, Ge, Sn, Pb eingesetzt werden. Die an die Zwischenschicht 103 angrenzenden Schichten, insbesondere die darunterliegende Pufferschicht 102 aus GaAs oder anderen III-V- oder Elementhalbleitermaterialien und die darüberliegenden II-VI-Schichten können undotiert, n- oder p-leitend dotiert sein. Bevorzugt werden hochdotierte Schichten verwendet, um einen elektrischen Transport durch die dünne BeTe-Barriere zu ermöglichen.

In einer alternativen Ausgestaltung des Verfahrens wird die Zwischenschicht 103 in einer im Se- bzw. S-Hintergründruck reduzierten II-VI-Epitaxiekammer erzeugt, wo-

bei dafür gesorgt werden muß, daß heiße Flächen, wie Ofenblenden oder Filamente entgast werden und die Effusion von Se bzw. S durch vollständig geschlossene Ofenblenden, bevorzugt durch verschleißbare Ventil- bzw. Crackerzellen, vermieden wird. Bei diesem Verfahren in einer II-VI-Epitaxiekammer wird das auf die Wachstumstemperatur von zwischen 250°C und 450°C aufgeheizte Substrat 101 bzw. die Pufferschicht 102 in einen Te- und Be-Strahl geschwenkt (gedreht) werden.

In der in Fig. 4 gezeigten lichtmikroskopischen Aufnahme der Oberfläche einer BeMgZnSe-Schicht, die mit 60°C warmer HCl (32%) für 30 Sekunden angeätzt wurde sind Ätzgrübchen zu erkennen, die durch den selektiven Ätzangriff der HCl an Kristalldefekten entstanden sind. In II-VI-Halbleiterschichten sind drei Arten von Ätzgrübchen zu unterscheiden, die eine typische Form auf der Oberfläche zeigen. Typ-I-Ätzgrübchen werden auf Versetzungen oder Se-terminierte Stapelfehler zurückgeführt. Typ-II-Grübchen entstehen an paarweise auftretenden Stapelfehlern, die an Stellen des GaAs-Substrates nukleieren, an welchen eine Reaktion mit Selen auftritt. Einzelne Stapelfehler oder Versetzungen können zu kleinen Ätzgrübchen (Typ III) führen.

In Tabelle 1 sind die Dichten der angeätzten Defekte in Abhängigkeit verschiedener Wachstumsvorbereitungen aufgezeigt. Hierzu wurden BeMgZnSe-Schichten direkt auf einer unpassivierten GaAs-Oberfläche aufgebracht. In einem anderen Verfahren wurde die GaAs-Oberfläche mit Zn passiviert, bzw. ein MBE-ZnSe-Puffer auf einer Zn-passivierten Oberfläche erzeugt. Im Gegensatz zu diesen Methoden führt die Einführung eines BeTe-Puffers unter Ausschluß von Selen im Hintergründruck zu einer drastischen Reduktion der Defektdichte von allen genannten Typen. Die somit erzielten Defektdichten liegen in einem Bereich von wenigen Tausend pro  $\text{cm}^2$  und sind damit niedrig genug, um eine Verlängerung der Lebensdauer von II-VI-Bauelementen zu bewirken.

Die Beschreibung des erfindungsgemäßen Verfahrens im Zusammenhang mit den Ausführungsbeispielen ist selbstverständlich nicht als Beschränkung der Erfindung auf diese Ausführungsbeispiele zu verstehen. Erfindungsgemäße Abänderungen der Schichtfolgen und Bauelemente, die auf einem BeTe-Puffer aufgebracht werden, können ebenso auf der Basis anderer Halbleitermaterialien ausgebildet sein, wie zum Beispiel GaAs, InAs, AlAs, GaN, AlN, InN, GaP, InP, AlP, GaSb, InSb, AlSb und aus auf diesen binären Verbindungen basierenden Mischkristallsystemen, sowie ZnSe, CdSe, BeSe, HgSe, ZnS, CdS, MgS, BeS, HgS, ZnTe, CdTe, MgTe, BeTe, HgTe, und daraus gebildeten Mischkristallsystemen. Substratmaterial kann beispielsweise undotiertes, kompensiertes, p-leitendes oder n-leitendes Si, Ge, GaAs, InAs, InGaAs, GaP, InP,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC, CdTe, CdZnTe, ZnO oder ZnSe sein. Die beschriebenen Puffer unterhalb der BeTe-Schichten können ebenfalls aus Si, Ge, GaAs, InAs, InGaAs, GaP, InP,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC, CdTe, CdZnTe, ZnO oder ZnSe oder verwandten Mischkristallen sein.

#### Patentsprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterbauelements, bei dem eine mindestens eine Se- und/oder S-haltige II-VI-Halbleiterschicht aufweisende aktive Schichtenfolge (113) auf einem Substrat (101) aufgebracht wird, gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte:

a) epitaktisches Aufwachsen einer Se-freien II-VI-Zwischenschicht (103) auf der Basis von BeTe auf das Substrat (101) in einer im Wesentlichen

- Se- und S-freien ersten Epitaxiekammer (211, 221) und  
 b) epitaktisches Aufwachsen der aktiven Schichtenfolge (113) auf die Se-freie II-VI-Halbleiterschicht (103). 5
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (103)  $\text{Be}_x\text{Mg}_y\text{Zn}_{1-x-y}\text{Te}$ ,  $\text{Be}_x\text{Zn}_y\text{Cd}_{1-x-y}\text{Te}$ ,  $\text{Be}_x\text{Zn}_y\text{Mn}_{1-x-y}\text{Te}$  oder  $\text{Be}_x\text{Mn}_y\text{Cd}_{1-x-y}\text{Te}$  aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (101) aus einem III-V-Halbleitermaterial, insbesondere GaAs, InAs oder InGaAs besteht. 10
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Zwischenschicht (103) 0,5 bis 100 Monolagen beträgt. 15
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem epitaktischen Aufwachsen der Se-freien II-VI-Zwischenschicht (103) auf das Substrat (101) eine glatte Pufferschicht (102) 20 aufgebracht wird, die je nach Halbleitermaterial des Substrats (101) aus GaAs, InAs, InGaAs, InP, GaP, GaSb, GaN oder daraus gebildeten Mischkristallen, aus Ge, Si, SiGe, SiC,  $\text{S}_x\text{C}_{1-x}$  oder daraus gebildeten Mischkristallen, aus ZnO, ZnSe, CdTe, CdZnTe oder daraus gebildeten Mischkristallen, oder aus  $\text{Al}_2\text{O}_3$  besteht und undotiert, n-leitend oder p-leitend wird. 25
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenschicht (103) auf der glatten Pufferschicht (102) in der Epitaxiekammer (211, 221) hergestellt wird, in der die Pufferschicht (102) erzeugt wird. 30
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Aufwachsen der Zwischenschicht (103) auf der Pufferschicht (102) eine As-reiche Oberfläche hergestellt wird. 35
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Aufwachsen der aktiven Schichtenfolge (113) eine Anpassungsschicht (104) auf die Zwischenschicht (103) aufgewachsen wird. 40

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

45

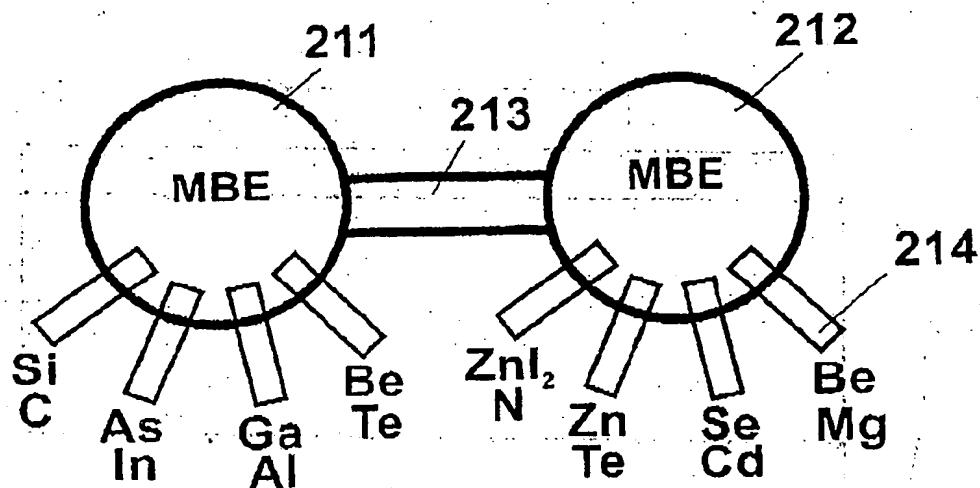
50

55

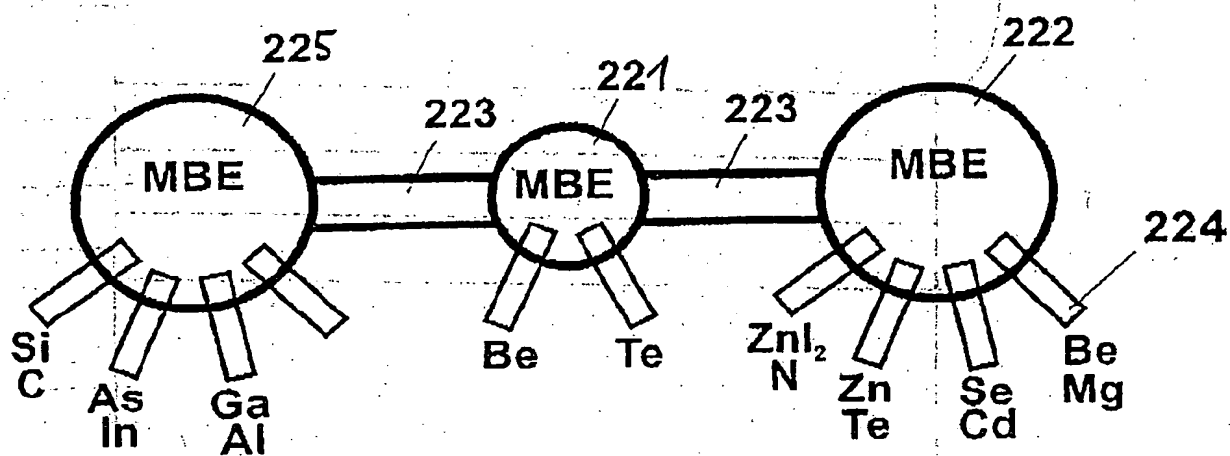
60

65

- Leerseite -



Figur 2:



Figur 3:

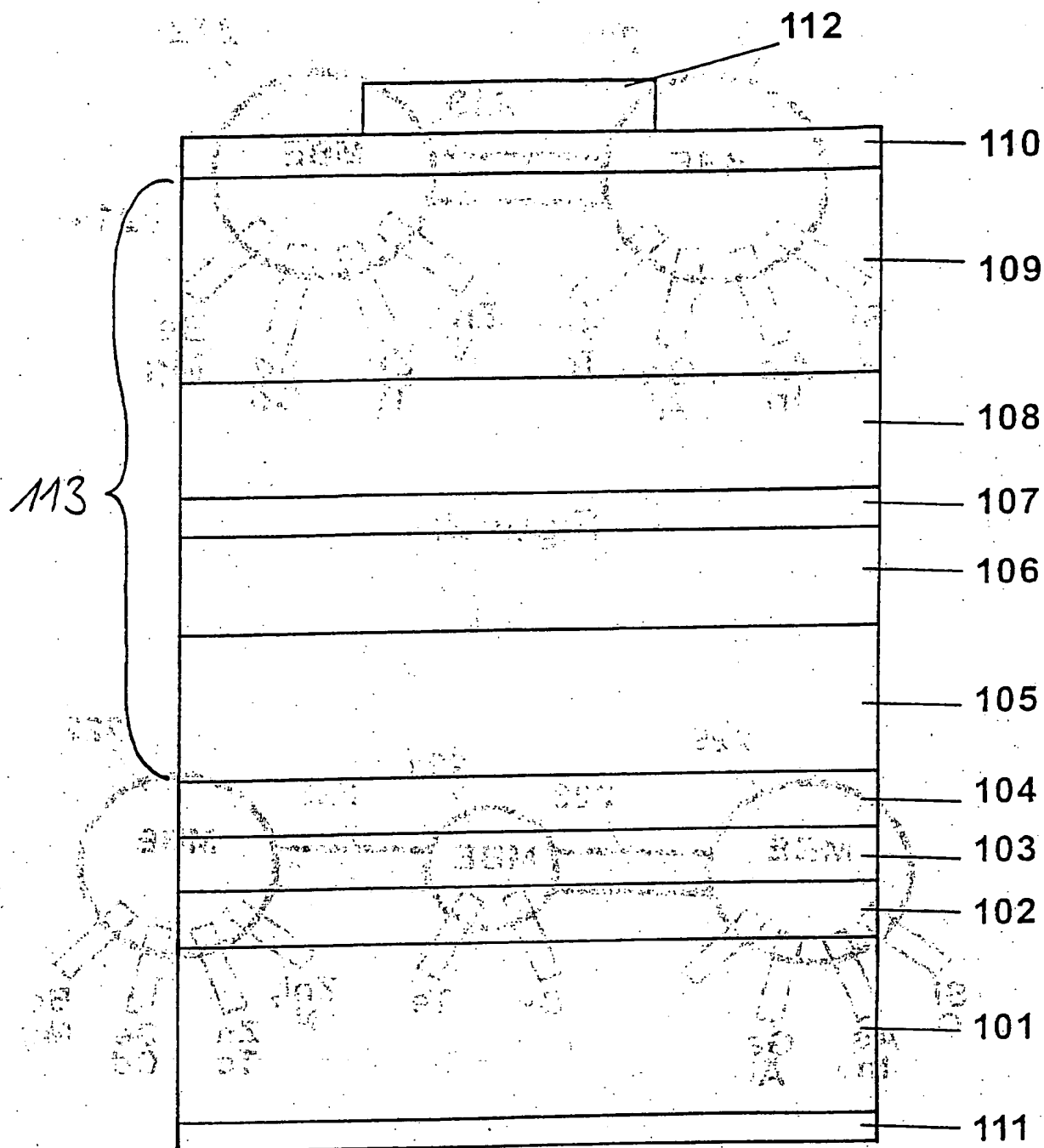
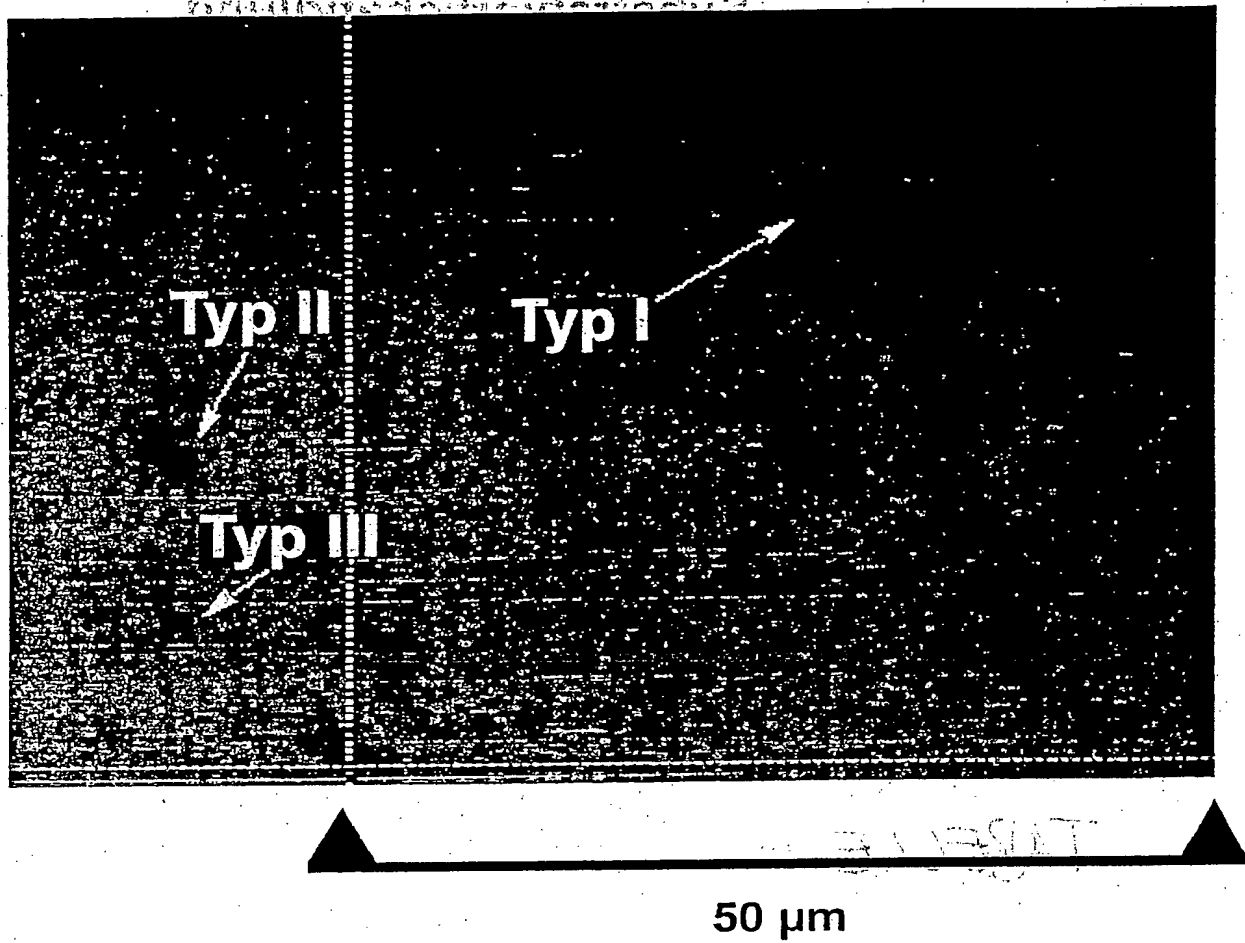


FIG. 1





Figur 4:

## Substratvorbehandlung

	nicht passiviert	Zn- passiviert	Zn-MEE	BeTe-Puffer
Typ I	$10^5 \text{ cm}^{-2}$	$10^7 \text{ cm}^{-2}$	$10^4 \text{ cm}^{-2}$	$10^3 \text{ cm}^{-2}$
Typ II	$10^7 \text{ cm}^{-2}$	$10^7 \text{ cm}^{-2}$	$10^5 \text{ cm}^{-2}$	$10^2 \text{ cm}^{-2}$
Typ III	$10^7 \text{ cm}^{-2}$	$10^7 \text{ cm}^{-2}$	$10^3 \text{ cm}^{-2} -$ $10^4 \text{ cm}^{-2}$	$10^3 \text{ cm}^{-2} -$ $10^4 \text{ cm}^{-2}$

TABELLE